

Vstrekovacia tryska druhu MPi - referát



obr. 1.: vstrekovací ventil 18114-750

Úvod

Spaľovacie motory tvoria prevažnú väčšinu pohonných zdrojov v automobilite, kde zdrojom točivého momentu v nich je chemické spaľovanie paliva a vzduchu. V zážihových motoroch sa spaľuje zmes vzduchu a rozprášeného tekutého paliva, ktorý treba vytvoriť pre isté podmienky.

Kvalita horenia a z toho vyplývajúce vlastnosti chodu motora závisia od kvality samotnej zmesi. Bohatosť zmesi je hmotnostný pomer vzduchu a paliva v zmesi. Ideálna zmes je tvorená v pomere 14.7:1 pri čistom benzíne a vzduchu, pri zmesi benzínu s etanolom (E5, E10, E85 a pod.) sa tento pomer zmení. Keď zmes má takéto zloženie, nazýva sa stechiometrickou, keď je v ňom prebytok vzduchu, tak hovoríme, že zmes je chudá, v opačnom prípade bohatá.

Ako som už hore spomínal, bohatosť zmesi určuje kvalitu horenia v spaľovacom motore, preto je veľmi dôležitá jeho regulácia resp. ovládanie. Zmes v spaľovacích motoroch je tvorená mechanicky, môže byť mechanicky alebo elektricky ovládané alebo aj regulované.

V prvých autách boli použité karburátory (dnes len malé motory napr. reťazové píly), kde zmes bola tvorená podtlakom nasávaného vzduchu mechanicky, jednoducho povedané čím viac vzduchu motor nasáva, tým je väčší podtlak (menší tlak) pohybujúceho sa vzduchu a tým viac paliva rozpráši. V tomto systéme je bohatosť zmesi ovládaná mechanicky, ručným nastavením skrutiek (dýz) na karburátore, na odmeranie paliva však boli použité jednoduché mechanické regulačné systémy (väčšinou membránové alebo plavákové). Prevádzka spaľovacieho motora ale je veľmi premenlivá, nikdy nie je homogénna. Hlavné premenné v jeho prevádzke sú jeho otáčky a zaťaženie (požadovaný moment od motora – je priamo závislá s polohou škrtiacej klapky), vedľajší vplyv naňho má teplota motora, zloženie vzduchu, teplota paliva a pod. Pre tieto rôzne prevádzkové stavy, hlavne pre prechodné a volnobežné, boli neskôr implementované rôzne korekčné mechanizmy napr. akceleračná pumpička (pri náhlom šliapnutí na plynový pedál obohacuje zmes vhodnú na zrýchlenie) alebo sytič (pri nižších teplotách motora obohacuje zmes aby motor nezdochol). Ďalším problémom tohto druhu tvorenia zmesi je presýtenie (hovorovo prechlastanie) motora, lebo sa nekontroluje spálenie zmesi napr. keď motor dlho štartuje a nenaskočí, pritom stále nasáva palivo do spaľovacej komory, bohatosť zmesi v komore môže presiahnuť hranicu spaľovania, a treba ručne vysať z neho prebytok paliva pred ďalším pokusom štartovania.

Neskoršie, výrobcovia áut začali vyvíjať nové spôsoby tvorenia zmesi v zážihových motoroch s elektromechanickou, neskôr elektronickou reguláciou bohatosti zmesi – začali sa používať vstrekovacie ventily. Viacerí začali vyvíjať vstrekovacie systémy, medzi prvé patrili Clessie Cummins v USA, nemecký Robert Bosch, ale aj rôzne ázijské firmy ako Hitachi a pod.

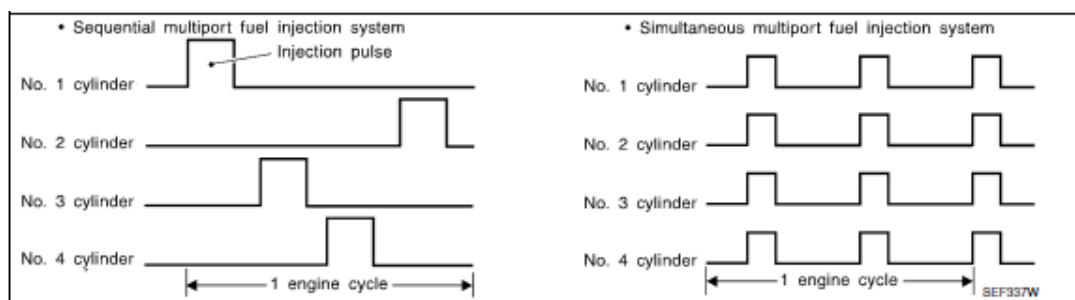
Podstatou tohto systému – vstrekovania paliva – je možnosť elektronicky ovládať vstreknuté množstvo paliva kontinuálne alebo diskontinuálne. Palivo je natlakované palivovým čerpadlom pred tryskami, ktoré sú elektromagnetom ovládané ventily, ktoré pri otvorení prepúšťajú palivo.

D-Jetronic (z nemeckého slova Druck = tlak) od firmy Bosch diskontinuálne dávkovoval palivo, hoci neskorší K-Jetronic (z nemeckého slova Kontinuierlich = spojito) kontinuálne prepúšťal palivo a bol ovládaný (otvorená regulácia) prietokom paliva. V ďalších generáciách Jetronic (L, L2, LE1, LE2, LU, L3, LH) sa vrátilo k diskontinuálnemu dávkovaniu paliva t.j. palivo je prerušene dávkovaný so skoro konštantným prietokom (ako PWM signál). Vstrekovací systém bol vylepšený z viacerých hľadísk, z toho najdôležitejšie:

Na začiatku sa k vstrekovačom sériovo pripojili ochranné odpory na obmedzenie prúdu kvôli vysoko induktívnym charakterom vstrekovačov, čo bolo pri generácií L2 vyriešené elektrickým obmedzením prúdu z riadiacej jednotky motora (ECU - Engine Control Unit), a zaviedlo sa nominálny odpor 16 Ω vstrekovačov (líši sa pre iné výrobcovia ale okolo 12-16 Ω). Prúd z ECU za krátky výpočet je U/R - kde U je napájacie väčšinou 12-14V a R je odpor vstrekovača - 14/16 čo je niečo okolo ~1A.

Pri generácií LU-Jetronic pribudli lambda senzory, ktoré snímali prebytok vzduchu v spáleninách a tým umožnili regulovať bohatosť zmesi v uzatvorenej regulačnej slučke. Dávka paliva bola dopredu určená pre rôzne zaťaženia a otáčky tzv. mapami v ROM pamäti riadiacej jednotky, a korigované na požadovanú bohatosť. Neskôršie riadiace jednotky čítali mapy z EPROM pamäti (Erasable Programmable Read Only Memory) čo umožnilo korigovať základné mapy ak došlo k trvalej odchýlke napr. kvôli opotrebeniu mechanických súčiastok.

Časovanie vstrekovania sa tiež vyvíjalo počas jednotlivých generácií. Na začiatku vstrekovače otvárali naraz, dvakrát počas jedného pracovného cyklu motora, t.j. vstrekli polovicu dávky pri každej otáčke kľukového hriadeľa. Tento vzor bol použitý aj pri jednobodovom vstrekovaní (Spi – Single Point injection), nazývaným Mono-Jetronic (prechod pre autá s karburátorom napr. motor Škoda 781.136B – Škoda Favorit s jednobodovým vstrekovaním). V dnešných autách je už avšak použité sekvenčné vstrekovanie čo spočíva v individuálnom časovaní vstrekovania každého valca zvlášť, aby vstrekovanie prebehlo tesne pred otvorením sacieho ventilu/ventilov, tým sa lepšie rozprášilo a rozvírilo palivo pri nasávaní.



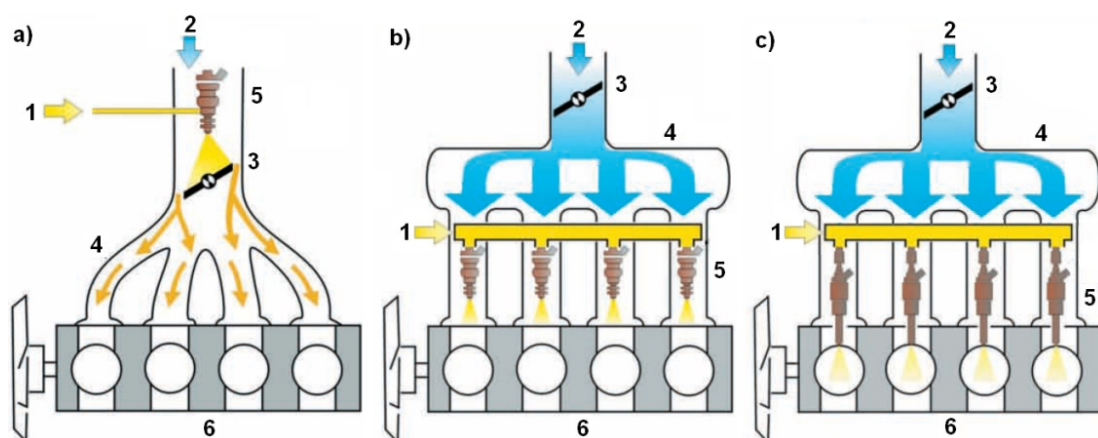
obr. 2.: časový priebeh sekvenčného a simultánneho vstrekovania pre štvorvalcový motor

Typy vstrekovačov

Základné rozdelenie vstrekovačov pre zážihové motory závisí na ich počte a polohe:

- Jednobodové (Single Point injection) – pracuje ako elektricky ovládaný karburátor
- Viacbodové (Multi Point injection) – staršia varianta, cez sací ventil je nasávaná hotová zmes paliva a vzduchu, čo limituje maximálne tlaky a teploty spaľovania kvôli detonačnému spaľovaniu (vznietenie paliva pred iskrou sviečky). Pri tejto variante sa používa tlak paliva rádo niekoľko bar (väčšinou 3-5 barov).

- Vstrekovanie priamo do valca (Stratified injection, Direct injection) ponúka možnosť vytvoriť vrstvenú zmes vo valci, dovoľuje použiť väčší kompresný pomer, a zvýšiť účinnosť spaľovania. Nevýhodou tvorí silnejšia karbonizácia pracovného priestoru a sacieho systému, pričom potrebuje tlak paliva rádovo 30 až 100 bar.



obr. 3.: typy vstrekovania:

a) jednobodové b) viacbodové c) priame

1 – prívod paliva 2 – prívod vzduchu 3 – škrtiacia klapka 4 – sacie potrubie

5 – vstrekovací ventil/ventily 6 – blok motora

Podľa prívodu paliva:

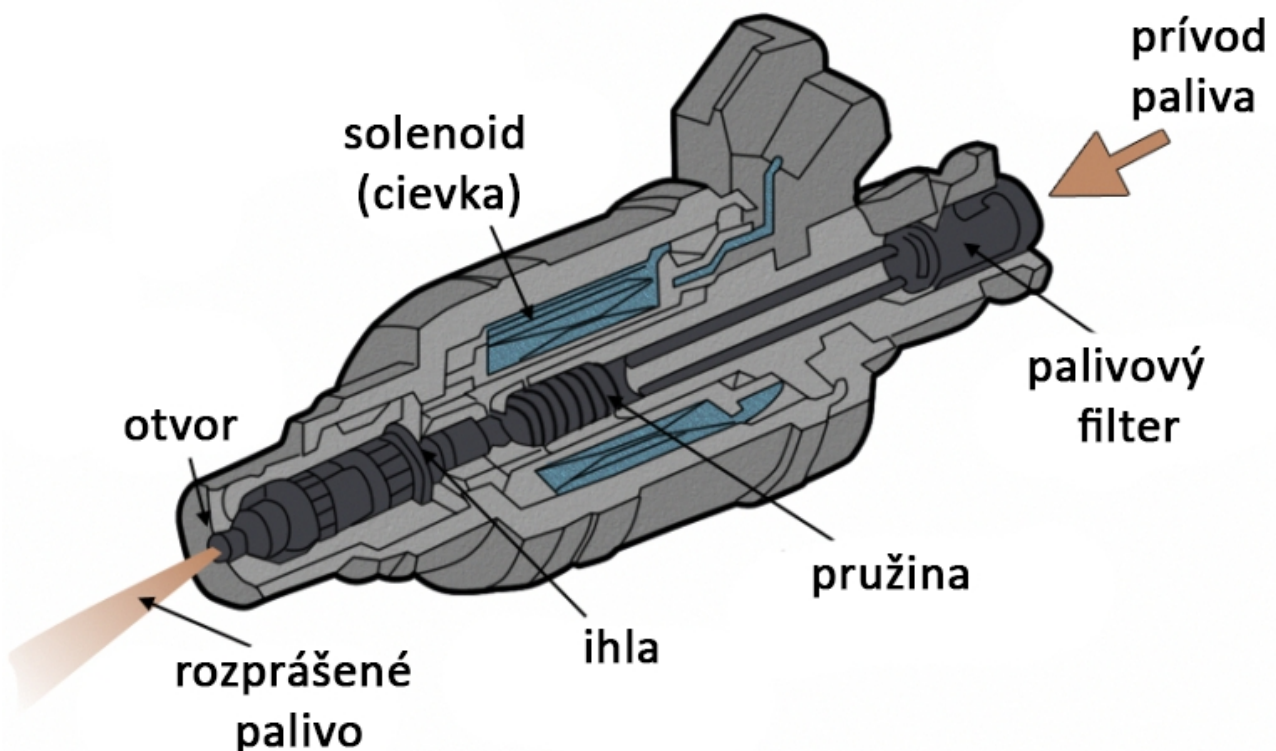
- Top feed – palivo je privedené na jeden koniec ventilu, a vstrekuje sa na druhom konci
- Side feed – palivo je privedené z boku, okolo sedla ventilu, a vstreknuté na konci



obr. 4.: typy ventilov podľa prívodu paliva

Štruktúra ventilu MPi

Vstrekovací ventil pozostáva z elektromagnetu, pružiny a pohyblivej ihly. Väčšinou je jeden kolík ventilu (z dvoch) pripojený na svorku 15 (zapaľovanie), a druhý kolík je privedený na výstup riadiacej jednotky motora, ktorý je v kľudovom stave tiež na úrovni svorky 15, a pre otvorenie ventilu ho stiahne na zem, tým vytvorí napätie na cievke vo ventile (tzv. negatívne zapojenie, niektoré značky požívajú kladné zapojenie), ihla sa zodvihne a palivo prechádza cez otvor a rozpráši sa pod tlakom. Toto prebehne pod konštantným tlakom a konštantným prietokom, čo znamená že palivová dávka resp. obj paliva počas vstrekovania je priamo úmerné času otvorenia ventilu. Samozrejme v skutočnosti to tak nie je, prejavujú sa tam prechodné procesy, ale prechod vstrekovača zo zatvoreného stavu do otvoreného je veľmi rýchly kvôli nízkej hmotou pohybujúcich sa častí a predpokladá sa malé oneskorenie kvôli indukčnosti cievky. Na konci vstrekovania cievka pustí, a pružina pritlačí ihlu naspäť do otvoru. Indukované napätie na cievke sa utlmí v diódach, ale to je riešené vnútri riadiacej jednotky.



obr. 5. rez ventilu MPi

Prechodné procesy vo ventiloch prebehnú veľmi rýchlo a výrobcovia sa snažia aby správanie ventilu bolo čo najlineárnejšie – aby vstreknuté množstvo pre jeden cyklus lineárne záviselo od plnenia otváracieho signálu, čo je vlastne PWM signál s premenlivou frekvenciou. Perióda tohto signálu je samozrejme trvanie jedného cyklu motora, čo sú dve otáčky pre jeden valec, čiže frekvencia otvárania vstrekovacích ventilov je polovica frekvencie otáčania sa kľukového hriadeľa.

Prechodné oneskorenia ventilov sa neudávajú ako elektrické a mechanické parametre ventilu, udáva sa jeho maximálny, „statický“ prietok (pri plnení 100%, angl. Duty Cycle) pri rôznych tlakoch palivového zásobníka (rail), v jednotkách 'cc' čo je skratka pre cm^3/min . V literatúre sa nájdu rôzne hraničné plnenia, väčšinou sa odporúča 50-80%. Veľkosť dávky sa počíta z plnenia signálu a statického prietoku, a pre korekciu nelinearity udávajú výrobcovia oneskorenie otvorenia pre rôzne napätia, tzv. „dead-time“.

Vstrekovací ventil 18114-750



obr. 6.: vstrekovací ventil 18114-750

Pre moju bakalársku prácu som potreboval zvýšiť dávku paliva pre zážihový motor SR20DE (NISSAN) kvôli zavedeniu preplňovania. Pre teoreticky vypočítaný maximálny výkon som potreboval „kontinuálny“ prietok paliva 522cc a továrenské vstrekovače motoru sú určené pre statický prietok 270cc. Jedná sa o vstrekovacie ventily 08310-16603 od firmy Unisia Jecs (dnes Hitachi) typu side-feed. Objednal som si 4 ventily 18114-750 od firmy Five-O Motorsport ako výkonnú náhradu pre moje staré ventily s nominálnym statickým prietokom 750cc pri 3bar.

Dostal som nasledujúce údaje k sade vstrekovačov:

| Injector # | Injector Code # | Static Flow cc 4.0 BAR | Static Flow cc 3.5 BAR | Static Flow cc 3.0 BAR | Dynamic Flow Balance Test 50% Duty Cycle 6000 RPM 5ms 3 BAR | Dynamic Flow Balance Test Idle Duty Cycle 800 RPM 1.5ms 3 BAR |
|-----------------------|-----------------|---------------------------|--|---------------------------|---|---|
| 1 | 3017 | 886 | 819 | 751 | 345 | 7 |
| 2 | 3041 | 883 | 816 | 748 | 347 | 7 |
| 3 | 3055 | 886 | 819 | 751 | 347 | 7 |
| 4 | 3037 | 886 | 819 | 751 | 349 | 7 |
| Resistance: 11.5 Ohms | | | Dead Time (Latency): 0.416 ms @ 14 Volts | | | |

| Dead Times | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volts | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| ms | 1,688 | 1,351 | 1,091 | 0,857 | 0,675 | 0,519 | 0,416 | 0,312 | 0,234 | 0,182 | 0,130 |

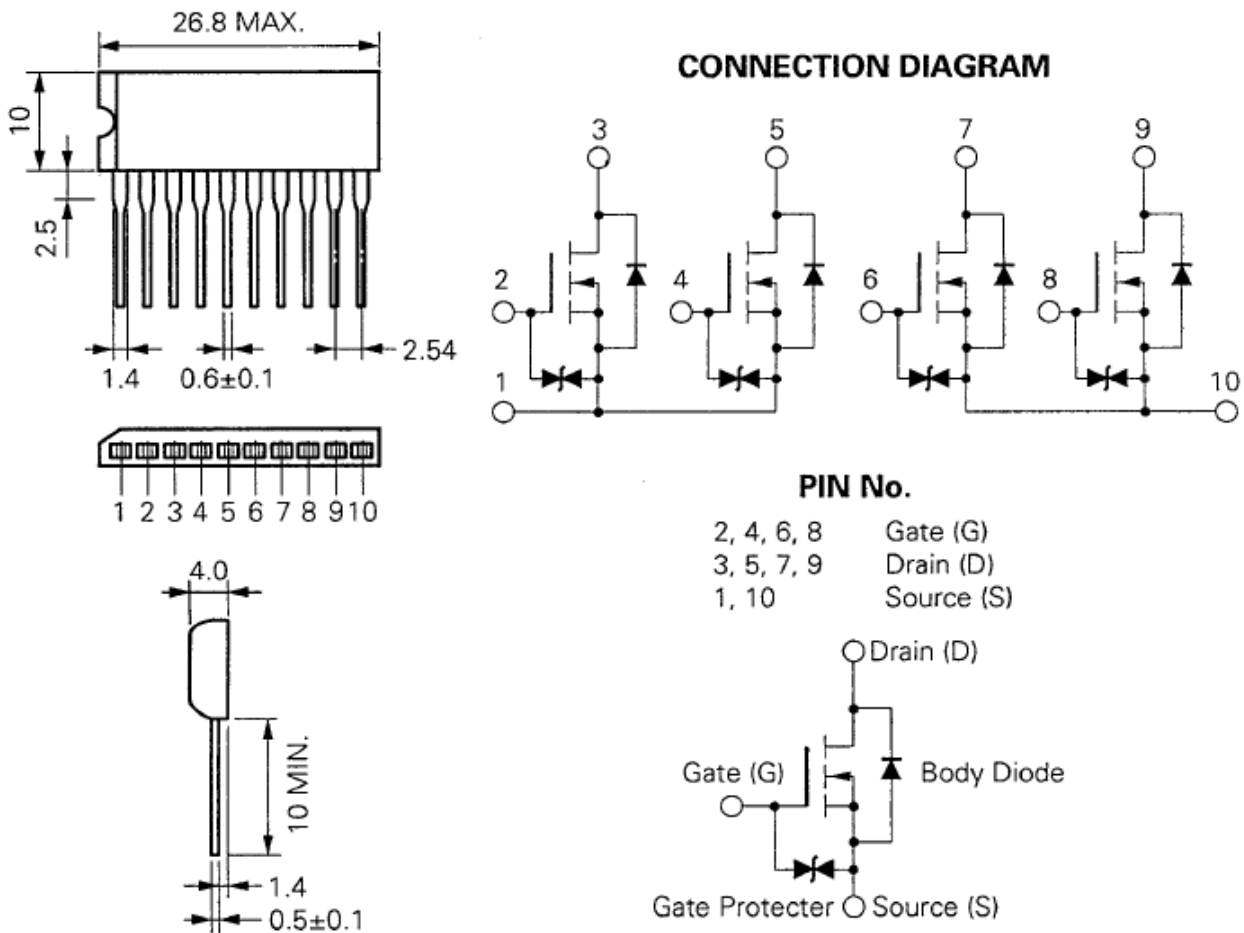
Táto sada vstrekovačov pre výkonové aplikácie je ladená, t.j. vstrekovače sú párované pre súmernosť systému, aj z údajov vidno, že rozptyl ich prietoku je okolo niekoľko desiatín percenta. V literatúre sa píše tiež bežné oneskorenie takých ventilov, rádovo 1 ms, tieto vstrekovače avšak sú rýchlejšie, ich čas otvorenia pri bežných podmienkach (napájanie 12-14 V) sa pohybuje okolo 0.4-0.5 ms, čo znamená menšiu nelinearitu dávkovania paliva. Korekcia dávkovania je vypočítaná z napájacieho napätia, o toľko skorej musí riadiaca jednotka začať otvoriť ventil pre správne časovanie vstrekovania (sekvenčné vstrekovanie).

Ovládanie ventilov

Vstrekovacie ventily, ako som už hore spomínal, sú ovládané riadiacou jednotkou motora. Ventily však predstavujú dosť veľkú záťaž, preto potrebujeme vývody z riadiacej jednotky s nízkym výstupným odporom. Základ riadiacích jednotiek tvoria mikroprocesory, prevažne pracujúce s napájaním 5V, potrebujeme spôsob týmito nezaťažiteľnými 5V signálmi spínať výkonové vývody napr. pre vstrekovacie ventily (ale aj napr. pre relé, svetlá a pod.).

Na spínanie ventilov a ostatných výkonných komponentov sú použité tranzistory, presnejšie tranzistorové polia. Tranzistorové pole (angl. transistor array) je viackanálová súčiastka zahrňujúce niekoľko výkonných tranzistorov so spoločným alebo oddeleným napájaním.

Motor SR20DE je ovládaný riadiacou jednotkou A18-E85 vyrobená firmou Unisia Jecs. Tento motor je často považovaný za jeden z najlepších zážihových motorov v celej histórii automobility a jeden z príčin jeho úspechu je jednoduché ovládanie a malý počet elektricky ovládaných súčiastok. Z riadiacej jednotky vystupujú len 8 výkonných signálov (4 vstrekovače, relé ventilátoru chladenia, relé palivového čerpadla, voľnobežný spínač a napájanie vyhrievacieho vlákna lambda sondy), má 4 komunikačné vývody a dve signálové výstupy, ostatné piny sú vstupy, preto mu stačia 8 tranzistorov, ktoré sú v 2 súčiastkách zahrnuté: μ PA1556AH a μ PA1558AH, obe výrobkom firmy NEC Corporation. Spínanie ventilov má na starosti μ PA1556AH a má nasledovný vzhľad a štruktúru:



obr. 7.: tranzistorová jednotka μ PA1556AH

Táto súčiastka sa skladá zo 4 MOSFET tranzistorov a má 4 oddelené napájania pre každý transistor, tie sú však vnútri riadiacej jednotky prepojené, a spínané z mikropočítačovej 5V logiky. To je preňho postačujúce, v katalógu má uvedenú 4V odporúčanú hranicu bazového napätia (Gate - G), pri ktorom má typicky 0.25Ω prechodový odpor medzi kolektorom (Drain - D) a emitorom (Source - S) a D-S prúd typicky 3A, (ventily potrebujú cca. 1A).

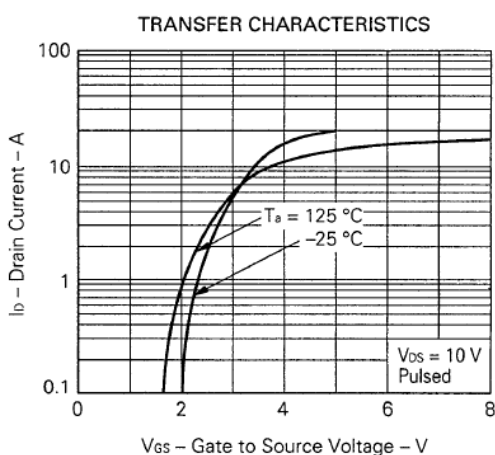
Rýchlosť spínania je daná časovým oneskorením medzi dosiahnutím 10% G-S (spínacieho) napätia a 10% D-S prúdu a dosiahnutím 90% D-S prúdu. Tie sú dané pre G-S napätie 10V, 17Ω záťaž a 50V napájanie ako $35 + 60$ ns, čiže zhruba 0,1 ms:

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_a = 25 °C)

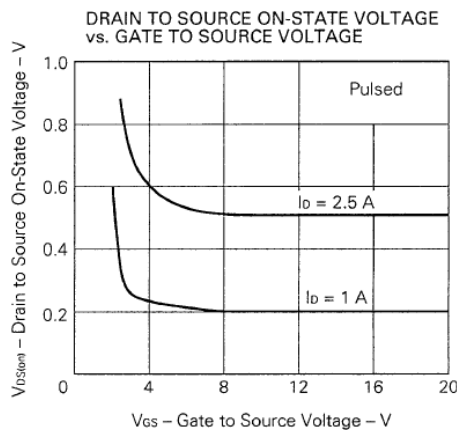
| CHARACTERISTIC | SYMBOL | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT | TEST CONDITIONS |
|-------------------------------------|----------------------|------|------|------|------|---|
| Drain Leakage Current | I _{loss} | | | 10 | μA | V _{DS} = 100 V, V _{GS} = 0 |
| Gate to Source Leakage Current | I _{GSS} | | | ±10 | μA | V _{GS} = ±20 V, V _{DS} = 0 |
| Gate to Source Cutoff Voltage | V _{GS(off)} | 1.0 | | 2.5 | V | V _{DS} = 10 V, I _D = 1 mA |
| Forward Transfer Admittance | y _{fs} | 4.0 | | | S | V _{DS} = 10 V, I _D = 3 A |
| Drain to Source On-state Resistance | R _{DS(on)1} | | 0.20 | 0.25 | Ω | V _{GS} = 10 V, I _D = 3 A |
| Drain to Source On-state Resistance | R _{DS(on)2} | | 0.25 | 0.33 | Ω | V _{GS} = 4 V, I _D = 3 A |
| Input Capacitance | C _{iss} | | 700 | | pF | V _{DS} = 10 V V _{GS} = 0 f = 1.0 MHz |
| Output Capacitance | C _{oss} | | 200 | | pF | |
| Reverse Transfer Capacitance | C _{rss} | | 30 | | pF | |
| Turn-On Delay Time | t _{d(on)} | | 35 | | ns | I _D = 3 A V _{GS} = 10 V V _{CC} = 50 V R _L = 17 Ω, R _{in} = 10 Ω See Fig. 1 |
| Rise Time | t _r | | 60 | | ns | |
| Turn-Off Delay Time | t _{d(off)} | | 800 | | ns | |
| Fall Time | t _f | | 200 | | ns | |
| Total Gate Charge | Q _G | | 17 | | nC | V _{GS} = 10 V I _D = 5 A V _{DD} = 80 V See Fig. 2 |
| Gate to Source Charge | Q _{GS} | | 2.5 | | nC | |
| Gate to Drain Charge | Q _{GD} | | 4 | | nC | |
| Diode Forward Voltage | V _{F(S-D)} | | 1.0 | | V | I _F = 5 A, V _{GS} = 0 |
| Reverse Recovery Time | t _{rr} | | 120 | | ns | I _F = 5 A, V _{GS} = 0 |
| Reverse Recovery Charge | Q _{rr} | | 230 | | nC | di/dt = 50 A/μs |

obr. 8.: charakteristické údaje súčiastky μPA1556AH

Ďalej dve dôležité charakteristiky z katalógového listu:



obr. 9.: prevodová charakteristika



obr. 10.: D-S úbytok

Na obr. 9. vidíme že pri 5 G-S napätí, D-S prúd môže byť aj 10A, hoci nám cievka vstrekoča limituje na cca. 1A (odpor tranzistora v otvorenom stave môžeme zanedbať: $11,5 \Omega \gg 0,25 \Omega$) pričom úbytok na ňom je 0,2 V, s čím riadiaca jednotka môže počítať pri počítaní času prechodu vstrekovacieho ventilu zo zatvoreného do otvoreného stavu. Tranzistory siahnu jeden vstup ventilu na zem, tým na nich vznikne úbytok. Tieto signály sú v tejto jednotke filtrované paralelným radením s kapacitormi 334K100 (330nF 100V fóliové) zvlášť na každý výstup.

Záver

Vstrekovanie paliva je dnes už prevažne používaná technológia u spaľovacích motoroch, hlavne pre vozidlové aplikácie. Používajú sa typy MPi a priame vstrekovanie, prvé pre jednoduchšie a robustnejšie motory, kým výhody priameho vstrekovania sa využívajú pri výkonných motoroch (pretekárske a športové vozidlá). Štruktúra samotného MPi ventilu je jednoduchá, nie je namáhaná vplyvmi okolia, a jeho ovládanie sa realizuje pomocou PWM signálu z riadiacej jednotky, ktorá po správnom navrhnutí a naprogramovaní funguje ako jeden z najosvedčenejších spôsobov dávkovania paliva pre zážihové motory.